

离心收缩训练对前交叉韧带断裂患者股四头肌萎缩影响的研究进展*

苏利强^{1,2} 黄红拾¹ 常翠青^{1,3}

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)是维持膝关节稳定的重要结构,一般表现较为稳固,但是在极端运动作用下可以使ACL断裂。ACL断裂后的治疗方案主要是关节镜下ACL重建,ACL多采用自体肌腱或韧带移植重建,将重建的ACL固定在相应的骨上,一般术后一段时间内还需膝关节制动保护重建的ACL。该手术的优点是创伤小,恢复快,然而手术过程中取肌腱或韧带、固定ACL时建立骨隧道等均可以使机体再次受伤,这些伤害可以导致炎症产生,加之术后膝关节的制动等因素会造成股四头肌合成代谢小于分解代谢,导致肌力下降和肌肉萎缩。通过测试ACL重建术后股四头肌的肌力发现,术后较长时间内肌力明显低于健侧,重建后的前3个月股四头肌肌肉萎缩和肌力减退分别超过20%和30%,虽经积极康复,但在术后数年内股四头肌的体积和肌力一直减少10%—20%,也有报道ACL重建后几年股四头肌肌力下降超过30%,肌肉萎缩大于20%^[1-3]。股四头肌萎缩和肌力下降会导致膝关节不稳,影响正常日常生活活动,显著增加膝关节运动创伤和骨关节炎发病风险^[4],因此,对ACL断裂患者采取积极措施增加股四头肌肌力,预防和改善股四头肌萎缩,对提高手术效果和术后膝关节功能康复,以及预防远期骨性关节炎等疾病的发生具有重要作用和意义。

目前对ACL重建后膝关节的康复多采用抗阻训练来增加股四头肌肌力、减轻肌萎缩,采用的训练方法有股四头肌舒缩活动、直腿抬高训练、下蹲训练等,这些方法在康复过程的不同阶段都有一定的作用;另外一种抗阻训练方法是离心收缩,该方法是恢复股四头肌肌力的较好方法,本文对离心收缩训练在防治ACL断裂患者股四头肌萎缩的进展进行综述。

1 ACL断裂后股四头肌肌肉萎缩与肌力下降

当ACL断裂后伸膝受限,肌肉处于松弛状态,股四头肌活动减少,活动量下降,神经肌肉接头所受的电冲动减少,神经轴突轴浆运输减慢,由轴浆运输到肌肉的神经营养因子减少,可导致骨骼肌肌力下降,肌肉萎缩^[5-6]。

缺氧和微循环障碍对肌萎缩也产生影响,ACL断裂也伴

随膝关节周围骨骼肌和韧带的损伤,可造成邻近部位毛细血管的断裂,妨碍氧的供应,伤处的肿胀、手术后的各种固定更会导致血运不畅,再加上伤肢活动减少,肌挤压作用不足会造成静脉淤血,血液循环障碍,这些因素可以导致肌肉萎缩,并对肌肉毛细血管形态产生影响,使毛细血管数/肌纤维数下降,氧运输和利用能力下降^[7-8],这对股四头肌蛋白合成有负面影响。

ACL断裂后可引起应激反应,在应激情况下,氧代谢产物诸如超氧阴离子,过氧化氢及氧自由基等增多,而细胞内过氧化氢歧化酶(superoxide dismutase, SOD)的含量与活性又明显下降,使氧自由基的清除速度减慢,可表现出明显的氧化应激反应及肌肉萎缩的发生^[9]。在萎缩的骨骼肌中一些比较明确的凋亡相关基因表达发生改变,如促凋亡的Fas蛋白表达升高,抑制凋亡的Bcl-2蛋白表达下降,表明萎缩的骨骼肌细胞凋亡的发生与Fas及Bcl-2蛋白的表达有关^[10-12]。

由于ACL断裂后支配股四头肌的神经发放的冲动减少、微循环障碍、供氧不足、应激等因素,可以使骨骼肌蛋白降解增加,肌肉萎缩,肌力下降。

2 离心收缩对增加肌肉力量的作用

2.1 离心收缩的生理特点

离心收缩是肌肉收缩用力同时肌纤维被不断拉长的收缩形式。大负荷的离心收缩可以产生肌肉微细结构的破坏,产生延迟性肌肉酸痛^[13-14],对骨骼肌有不利的影响。然而离心收缩除了这些不利因素外,还有其很多优点,如肌肉离心收缩时产生的力量大于向心收缩产生的力量;离心收缩和向心收缩产生同样功率时,离心收缩的耗氧量少于向心收缩运动^[15],这些特点对防治肌肉萎缩的康复过程起到积极的作用。

虽然一次大负荷离心收缩会导致肌肉微损伤,但研究发现,采用循序渐进的递增负荷进行离心收缩训练不会造成骨骼肌损伤的发生^[16-17]。另外,通过较长时间的下坡跑(既离心训练)还可以提高线粒体钙稳态,稳定线粒体的呼吸功能,这些功能的提高伴随着核蛋白酶活性下降,热休克蛋白上调^[18]。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.11.020

*基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAI06B05)

1 北京大学第三医院运动医学研究所,北京,100191; 2 江西中医药大学体育教学部; 3 通讯作者
作者简介:苏利强,男,讲师; 收稿日期:2013-05-12

在代谢方面,随着运动负荷的增加,与向心收缩训练比较,离心收缩训练需要较少的氧即可满足代谢的需求^[17]。Rosemary等^[19]研究离心运动对氧需求时发现,离心收缩可以改变氧运输量和氧利用量的比值,对9名健康男性采用一次大强度离心训练后48h做6min中等强度运动,同时采用近红外技术检测还原型血红蛋白(deoxygenated Hb, HHb),结果发现较离心运动前24h的6min中等强度运动检测的HHb显著下降,认为骨骼肌离心收缩后可代偿性的提高氧合肌红蛋白(Oxymyoglobin, MbO₂)中氧的释放。对于骨骼肌组织能量的需求来说,微脉管系统结构和功能的变化对提高氧运输量和氧利用量的能力起到重要作用,观察大鼠离心收缩对微循环影响时发现,下坡跑使离心收缩的肌肉微循环功能改变,运动开始时肌肉的充血反应降低,微脉管氧分压(microvascular O₂ pressure, PmvO₂)下降,有利于MbO₂中O₂的释放和利用^[20]。

由以上研究可以看出,离心收缩有自身的生理特点,如与向心收缩比较产生同样负荷时氧耗量少,通过对微循环功能的影响促进肌红蛋白氧的释放,另外循序渐进的离心收缩还可以提高骨骼肌线粒体钙稳态,稳定线粒体的呼吸功能,并且不会造成肌肉的损伤,这些特征对临床中很多疾病的康复有积极的作用。

肌腱、韧带中的毛细血管少,当进行离心收缩训练时肌肉氧耗相对较少,可以较小程度地降低相关肌腱和韧带的血供,而大负荷向心收缩时肌肉耗氧增多,肌肉缺氧,肌腱、韧带也会缺氧,这尤其对受伤的肌腱和韧带会造成不良的影响。因此,对ACL断裂患者股四头肌采用离心收缩训练较向心收缩可以减轻运动造成的韧带缺氧,有利于韧带的恢复。

2.2 离心收缩在增加肌力方面的意义

比较离心收缩和向心收缩训练的结果,发现离心收缩训练对力量增大和肌肉横截面积增加的效果优于向心收缩训练^[21]。

对肌营养不良小鼠进行一次性离心收缩可以导致骨骼肌损伤,而适应的反复的离心收缩可提高肌肉力量,使骨骼肌收缩蛋白迅速恢复(甚至超出原有水平),增加了肌钙蛋白(parvalbumin)的表达,因此反复的离心收缩训练可以使骨骼肌的蛋白合成和功能发生超量恢复^[22]。

有规律的抗阻训练可以使肌力提高或肌力保持,而当抗阻训练停止后一段时间肌力会自然下降,在观察离心收缩训练对肌力增加和保持方面的研究发现,健康受试者分别采用向心收缩训练模式和向心+离心收缩训练模式进行12周训练,训练前后测试肌肉力量,12周训练后受试者均停止训练,在停训后12周再次测试肌肉力量,结果发现向心+离心收缩训练模式比单纯的向心训练模式能更好地保持肌肉的峰值力矩。因此通过抗阻训练发展肌肉力量时,在肌力增加方面

离心收缩具有更大的优势,原因可能是由于离心收缩比向心收缩对神经产生的刺激更大,并产生较为持久的适应^[23]。

肌卫星细胞附着于肌纤维表面,在肌肉生长、修复和重建中起着重要的作用,对健康成人进行一次大强度的离心训练可以增加骨骼肌Ⅱ型肌纤维肌卫星细胞的含量和活化状态,而这种变化在Ⅰ型肌纤维中的改变不明显^[24]。

对两组运动员上肢分别进行离心训练和向心训练,观察血浆中胰岛素样生长因子-1(insulin-like growth factor-1, IGF-1)、生长激素(somatotropin, GH)变化,10名年龄相当的没有经过训练的健康受试者作为对照,离心运动可以使血浆IGF-1、GH浓度升高,这些激素参与了骨骼肌的合成代谢,推断离心收缩训练后合成代谢加强与这些激素有较大的关系^[25]。

经过太空飞行后肌肉力量的下降和肌横截面积的减小是公认的结果,目前没有较好的对策来抑制微重力作用下肌肉功能下降和萎缩,而向心和离心抗阻训练均可以使肌肉力量加强,然而在肌肉力量增加效果方面离心收缩训练优于单纯的向心收缩训练^[26]。

因此,循序渐进的离心收缩训练不会造成肌肉损伤,而在离心收缩训练过程中IGF-1、GH浓度升高、Ⅱ型肌纤维肌卫星细胞活化加强,有助于肌肉力量和体积增加,在对抗肌肉萎缩和提高肌力方面有重要作用,这些作用成为ACL断裂后采用离心收缩训练来提高股四头肌肌力和防治肌萎缩提供了依据。

3 ACL损伤后发展股四头肌离心力量的重要性

对于膝关节损伤来说,评价肌肉的功能有助于制定膝关节康复计划,通过测试ACL重建后患者等速离心和等速向心收缩的力量,可以分析等速离心和等速向心收缩力量与膝关节功能水平的关系。有研究表明^[27]:ACL断裂患者患侧股四头肌和腘绳肌峰值力矩显著降低,其中股四头肌离心峰值力矩下降38%,而向心峰值力矩下降16%;腘绳肌离心力矩下降15%,而向心力矩下降8%,可见股四头肌离心力矩下降更为明显。

股四头肌离心力量对维持膝关节的稳定性非常重要,ACL断裂后股四头肌离心力矩下降也是膝关节不稳定的重要因素之一^[28]。Yoon T等收集了24例男性ACL断裂患者(平均31.1岁),在ACL重建后用Cybex 6000等速肌力测试仪以60°/s的角速度对伸膝和屈膝力量进行测试,同时用改良Cincinnati量表(modified Cincinnati scale, MCS)评估膝关节的功能水平,结果患侧膝关节向心和离心测试屈肌和伸肌的峰值力矩显著低于健侧($P < 0.01$),膝关节功能状态与股四头肌离心力量的流失率有密切联系。因此膝关节伸肌(股四头肌)离心训练对ACL伤后功能的恢复是非常有必要的,

膝关节伸肌离心肌力的提高可降低术后再次受伤的几[29]。

通过观察比较对照组(正常人7名)和实验组(自体移植ACL重建患者7例)股四头肌离心收缩力量和肌肉的激活状况,分析不同角速度下肌电图(EMG)/力矩的比值,通过测试四个角速度下(15°/s, 30°/s, 45°/s, 60°/s)股四头肌离心收缩产生的力矩,同时检测EMG,结果发现实验组患侧股四头肌离心力矩在快速运动时下降,正常人股四头肌离心力矩是随速度的增加而增加,这种增加的能力可以对抗强有力的向心伸的力矩来维持身体的平衡,可见ACL重建后股四头肌快速离心力矩下降更大,可能是术后膝关节快速屈伸的动作减少所致[30]。

ACL重建后膝关节伸肌离心力矩显著下降,从康复平衡角度分析应该加强股四头肌离心收缩的力量。从康复远期效果分析,加强ACL重建后膝关节伸肌离心力量可以预防膝关节的不稳定,增强膝关节的功能,将膝关节再次受伤的潜在风险因素降到最低,因此,ACL受伤后对提高股四头肌的离心收缩的力量在康复中占有重要地位。

4 离心收缩在ACL重建术后康复中的应用

ACL重建术后应用离心收缩训练提高股四头肌力量已经取得了一定的成绩。有研究收集9例年龄在(31.3±5.8)岁范围的ACL断裂患者,伤后第9—10个月采用单侧髓腱韧带重建ACL,术后进行康复训练,在患侧进行30°/s的角速度下进行,膝关节活动范围设定为20°—90°(以大小腿在一直线时膝关节夹角为0°,下同),训练时间为12w,每周训练两次,每次训练3组,每组最大离心训练10个重复,在训练前、训练6周后、训练12周后测试指标,指标为以康复训练的程序描记表面肌电图,用核磁共振成像测试分析肌肉体积,用等速训练测试仪测试30°/s和120°/s股四头肌离心收缩的峰值力矩。结果发现训练6周后股内侧肌和股外侧肌表面肌电图的均方根振幅分别从(213±107) μ V增加到(289±81) μ V($P=0.037$),从(207±65) μ V增加到(229±69) μ V($P=0.042$)。训练6周后在大腿远端股四头肌横截面积变化不大,然而在12周训练后则显著增加,而股四头肌中部横截面积在训练后6周就显著增加,从(123±23) cm^2 增加到(128±25) cm^2 ($P=0.029$),在训练12周后则增加到(134±25) cm^2 ($P=0.009$)。在训练6周后伸肌30°/s的角速度离心峰值力矩从原来的(227±56)Nm增加到(254±65)Nm($P=0.031$),12周后为(290±64)Nm($P=0.007$);训练12周后膝关节在屈膝60°的等长收缩的力矩从(198±37)Nm增加到(228±48)Nm($P=0.041$);在120°/s的角速度下离心力矩从(200±51)Nm增加到(240±63)Nm($P=0.039$)^[31]。提示离心训练6周后股四头肌开始出现肌力和体积的增大,到训练12周后效果更明显。

对ACL重建术后患者进行离心训练后可以显著提高股四头

肌肌力和横截面积^[32]。为进一步观察离心训练的远期效果,有学者^[33]将40例ACL重建术后患者按照干预方式不同分为离心训练组和常规训练组,在术后3周开始训练,共训练12w。常规训练组完成12w训练计划,每周2—3次,康复训练遵循循序渐进原则采用向心抗阻训练。离心训练组患者患侧在训练仪器上完成抗阻离心训练,膝关节离心抗阻活动范围从20°—60°。离心训练组股四头肌体积从训练前的(1388±403) cm^3 增加到训练后的(1733±476) cm^3 ,在一年后为(1784±477) cm^3 ,而常规训练组在训练前是(1374±264) cm^3 ,训练后为(1479±283) cm^3 ,一年后为(1630±295) cm^3 ,显示近期和远期效果离心收缩训练方法优于常规训练方法。

Gerber JP等^[34]研究了32例年龄在18—50岁之间ACL重建术后患者,根据干预方法不同分为离心训练组和常规训练组,两组均在术后第3周开始进行为期12w的训练,训练计划要考虑患者实际情况,在疼痛不增加、关节液渗出不增加的情况下增加负荷,直到增加到要求的最大负荷和频率。离心训练组的训练按照患者自身情况,调整速度,膝关节离心收缩抗阻活动范围调整在20°—60°,这一角度可以减轻膝关节的再受伤。在术后26周测试角速度为60°/s条件下股四头肌的最大离心收缩峰值力矩,同时检测膝关节疼痛、关节液渗出、稳定性指标,结果显示:在疼痛、膝关节液渗出和稳定性方面两组在术后26周均无显著差异,通过系统地训练后测试屈膝关节输出的负功增加,而膝关节和大腿的疼痛保持较低的程度。在患侧股四头肌的力量和做功距离显著提高,其中离心训练组显著高于常规训练组($P<0.01$)。因此,ACL重建后采用离心训练干预是安全的,术后增加离心训练可以增加肌肉力量、肌肉工作能力和关节活动度。

Coury HJ等^[35]在临床收集ACL重建术后(9.0±1.3)个月的患者,进行12w训练计划,患者仅对患侧进行等速训练,每周训练2天,每天训练3组,每组最大等速离心收缩10次,训练时采用的角速度为30°/s,训练组间休息3min。结果发现训练后股四头肌的力矩显著增加。

离心收缩训练为运动损伤提供了一个有效的康复手段^[36—37],ACL重建后的肌肉力量提高可能主要归因于骨骼肌肥大及增强了股四头肌收缩时神经功能的活性^[38]。以上研究结果显示,ACL重建术后采用离心收缩对股四头肌进行康复在肌力恢复和肌肉体积方面均有较好的效果。

从生物力学角度来看,膝关节活动范围从60°—0°,胫骨前移增加,最大前移发生在15°—0°,膝关节活动范围在75°—60°时,胫骨既不前移,也不后移,称为中立范围(quadriciceps neutral angle),活动范围>75°时,引起胫骨后移^[39—40]。因此ACL重建后对股四头肌进行训练时采用的膝关节活动范围一般要>20°,这一范围收缩股四头肌可以保持较小的胫骨前移,减小对ACL的牵拉,便于重建后ACL的康复。另

外,过早、过频的康复训练则可能会使膝关节松弛及稳定性差^[4],因此在制定康复方案时应注意关节活动范围及合理安排运动负荷。

5 小结

离心收缩较向心收缩能产生更大力量,消耗的氧较少,在提高肌肉力量和增加肌肉体积方面有较大的优势,并在防治肌肉萎缩方面起到了良好的效果。ACL断裂患者伸膝受限,股四头肌肌力下降、肌肉萎缩,在ACL重建术后对股四头肌实施离心收缩训练可以有效提高肌肉的力量和体积,提高膝关节的稳定性。在ACL断裂后的康复方面应结合实际情况制定安全、有效的运动康复方案,过大的负荷可以导致膝关节变松弛,稳定性差,而采用循序渐进的递增负荷的离心收缩训练则是安全的。离心收缩训练对于ACL断裂患者来说是一种康复手段,在具体康复过程中应考虑受伤时间、手术时间、手术方式、膝关节炎状况、ACL重建后的受力状况、骨隧道的稳定状况、维持膝关节稳定的肌肉力学特征、疼痛及其他危险因素,这些因素相互依赖,并在整体康复过程中扮演重要角色。对于ACL重建术后采用离心收缩训练的时间多为术后,而术前采用离心收缩训练的文献不足,然而术前股四头肌的功能状况也会影响到术后的恢复,因此,术前股四头肌离心收缩训练对ACL断裂患者近期和远期康复效果有待进一步研究。

参考文献

- [1] Nicholas SJ, Tyler TF, McHugh MP, et al. The effect on leg strength of tourniquet use during anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective randomized study[J]. Arthroscopy, 2001, 17(6):603—607.
- [2] Meighan AA, Keating JF, Will E. Outcome after reconstruction of the anterior cruciate ligament in athletic patients. A comparison of early versus delayed surgery[J]. J Bone Joint Surg Br, 2003, 85(4):521—524.
- [3] Williams GN, Snyder-Mackler L, Barrance PJ, et al. Muscle and tendon morphology after reconstruction of the anterior cruciate ligament with autologous semitendinosus-gracilis graft [J]. J Bone Joint Surg Am, 2004, 86(9):1936—1946.
- [4] Von Porat A, Roos EM, Roos H. High prevalence of osteoarthritis 14 years after an anterior cruciate ligament tear in male soccer players: a study of radiographic and patient relevant outcomes[J]. Ann Rheum Dis, 2004, 63(3):269—273.
- [5] Calvani R, Joseph AM, Adhietty PJ, et al. Mitochondrial pathways in sarcopenia of aging and disuse muscle atrophy [J]. Biological Chemistry, 2013, 394(3):393—414.
- [6] Mallinson JE, Murton AJ. Mechanisms responsible for disuse muscle atrophy: potential role of protein provision and

- exercise as countermeasures[J]. Nutrition, 2013, 29(1):22—28.
- [7] Powers SK, Wiggs MP, Duarte JA, et al. Mitochondrial signaling contributes to disuse muscle atrophy[J]. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 2012, 303(1):E31—E39.
- [8] Powers SK, Smuder AJ, Judge AR. Oxidative stress and disuse muscle atrophy: cause or consequence[J]? Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care, 2012, 15(3): 240—245.
- [9] Pellegrino MA, Desaphy JF, Brocca L, et al. Redox homeostasis, oxidative stress and disuse muscle atrophy[J]. J Physiol, 2011, 589(Pt 9):2147—2160.
- [10] Nicastrro H, Zanchi NE, Luz CR, et al. Functional and morphological effects of resistance exercise on disuse-induced skeletal muscle atrophy[J]. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 2011, 44(11):1070—1079.
- [11] Powers SK, Smuder AJ, Criswell DS. Mechanistic links between oxidative stress and disuse muscle atrophy[J]. Antioxidants & Redox Signaling, 2011, 15(9):2519—2528.
- [12] Stein TP, Blanc S. Does protein supplementation prevent muscle disuse atrophy and loss of strength?[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2011, 51(9):828—834.
- [13] Ra SG, Miyazaki T, Ishikura K, et al. Additional effects of taurine on the benefits of BCAA intake for the delayed-onset muscle soreness and muscle damage induced by high-intensity eccentric exercise[J]. Adv Exp Med Biol, 2013, (776):179—187.
- [14] Munehiro T, Kitaoka K, Ueda Y, et al. Establishment of an animal model for delayed-onset muscle soreness after high-intensity eccentric exercise and its application for investigating the efficacy of low-load eccentric training[J]. J Orthop Sci, 2012, 17(3):244—252.
- [15] Pahud P, Ravussin E, Acheson KJ, et al. Energy expenditure during oxygen deficit of submaximal concentric and eccentric exercise[J]. J Appl Physiol, 1980, 49(1):16—21.
- [16] Harris-Love MO. Safety and efficacy of submaximal eccentric strength training for a subject with polymyositis[J]. Arthritis Rheum, 2005, 53(3):471—474.
- [17] Lastayo PC, Reich TE, Urquhart M, et al. Chronic eccentric exercise: improvements in muscle strength can occur with little demand for oxygen[J]. Am J Physiol, 1999, 276 (2 Pt 2):R611—615.
- [18] Rattray B, Thompson M, Ruell P, et al. Specific training improves skeletal muscle mitochondrial calcium homeostasis after eccentric exercise[J]. Eur J Appl Physiol, 2013, 113(2): 427—436.
- [19] Davies RC, Eston RG, Poole DC, et al. Effect of eccentric exercise-induced muscle damage on the dynamics of

- muscle oxygenation and pulmonary oxygen uptake[J]. *J Appl Physiol*, 2008, 105(5):1413—1421.
- [20] Kano Y, Padilla DJ, Behnke BJ, et al. Effects of eccentric exercise on microcirculation and microvascular oxygen pressures in rat spinotrapezius muscle[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2005, 99(4):1516—1522.
- [21] Vikne H, Refsnes PE, Ekmark M, et al. Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2006, 38(10):1770—1781.
- [22] Call JA, Eckhoff MD, Baltgalvis KA, et al. Adaptive strength gains in dystrophic muscle exposed to repeated bouts of eccentric contraction[J]. *J Appl Physiol*, 2011, 111(6):1768—1777.
- [23] Colliander EB, Tesch PA. Effects of detraining following short term resistance training on eccentric and concentric muscle strength[J]. *Acta Physiologica Scandinavica*, 1992, 144(1):23—29.
- [24] Cermak NM, Snijders T, McKay BR, et al. Eccentric exercise increases satellite cell content in type-muscle fibers[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2013, 45(2):230—237.
- [25] Żebrowska A, Waśkiewicz Z, Zając A, et al. IGF-1 response to arm exercise with eccentric and concentric muscle contractions in resistance-trained athletes with left ventricular hypertrophy[J]. *Int J Sports Med*, 2013, 34(2):116—122.
- [26] Hilliard-Robertson PC, Schneider SM, Bishop SL, et al. Strength gains following different combined concentric and eccentric exercise regimens[J]. *Aviat Space Environ Med*, 2003, 74(4):342—347.
- [27] St Clair Gibson A, Lambert MI, Durandt JJ, et al. Quadriceps and hamstrings peak torque ratio changes in persons with chronic anterior cruciate ligament deficiency[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2000, 30(7):418—427.
- [28] Ikeda H. Isokinetic torque of quadriceps in patients with untreated anterior cruciate ligament injury of the knee joint [J]. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi*, 1993, 67(9):826—835.
- [29] Yoon T, Hwang J. Comparison of eccentric and concentric isokinetic exercise testing after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Yonsei Med J*, 2000, 41(5):584—592.
- [30] Osternig LR, James CR, Bercades DT. Eccentric knee flexor torque following anterior cruciate ligament surgery[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1996, 28(10):1229—1234.
- [31] Brasileiro JS, Pinto OM, Avila MA, et al. Functional and morphological changes in the quadriceps muscle induced by eccentric training after ACL reconstruction[J]. *Rev Bras Fisioter*, 2011, 15(4):284—290.
- [32] Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, et al. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle structure after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2007, 89(3):559—570.
- [33] Gerber JP, Marcus RL, Leland ED, et al. The use of eccentrically biased resistance exercise to mitigate muscle impairments following anterior cruciate ligament reconstruction: a short review[J]. *Sports Health*, 2009, 1(1):31—38.
- [34] Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, et al. Safety, feasibility, and efficacy of negative work exercise via eccentric muscle activity following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2007, 37(1):10—18.
- [35] Coury HJ, Brasileiro JS, Salvini TF, et al. Change in knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training for quadriceps in subjects submitted to anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Gait Posture*, 2006, 24(3):370—374.
- [36] Lorenz D, Reiman M. The role and implementation of eccentric training in athletic rehabilitation: tendinopathy, hamstring strains, and ACL reconstruction[J]. *Int J Sports Phys Ther*, 2011, 6(1):27—44.
- [37] Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, et al. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament reconstruction: a 1-year follow-up study of a randomized controlled trial[J]. *Phys Ther*, 2009, 89(1):51—59.
- [38] LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD, et al. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation, and sport[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2003, 33(10):557—571.
- [39] Jenkins WL, Munns SW, Jayaraman G, et al. A measurement of anterior tibial displacement in the closed and open kinetic chain[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1997, 25(1):49—56.
- [40] Savarese E, Bisicchia S, Romeo R, et al. Role of high tibial osteotomy in chronic injuries of posterior cruciate ligament and posterolateral corner[J]. *J Orthop Traumatol*, 2011, 12(1):1—17.
- [41] Schepsis AA, Busconi RD. 运动医学[M]. 韩一生,译. 西安:第四军医大学出版社,2008.473—484.